

УДК 621.431.75

ГАСИТЕЛЬ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВОЗДУШНОГО РЕГУЛЯТОРА

© 2012 А. А. Иголкин, А. И. Сафин, Е. В. Шахматов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье рассматривается гаситель пульсации давления (ГПД), который уменьшает шум, генерируемый от воздушного регулятора. Представлены результаты численного моделирования и экспериментальные исследования ГПД. В результате выполненной работы эффективность гасителя пульсаций давления доведена до 10,6 дБА.

Гаситель пульсаций давления, дросселирование, шум, клапан, акустическая мощность, воздушный регулятор.

В современном машиностроительном производстве, а также в системах автоматического регулирования, пневматические системы становятся неотъемлемой частью производственного оборудования. Преимущества пневматических приводов перед другими расширяют их область применения. Однако пневматическим приводам присущ недостаток, связанный с высоким уровнем шума. В процессе работы пневматических систем различного назначения, таких, например, как системы сжатого воздуха промышленного назначения, периодически возникает необходимость редуцирования сжатого воздуха (газа) на различных участках таких систем.

Шум узлов редуцирования обусловлен срабатыванием перепада давления на регулирующем органе (в основном это клапан – седло), т.е. источником шума является регулятор давления, в котором происходит процесс дросселирования газа.

В зависимости от параметров потока акустическая мощность струи воздуха пропорциональна скорости в 3-8 степени. Очевидно, что снижения шума можно добиться уменьшением скорости потока. Хорошо известны два пути снижения аэродинамического шума клапана. Это ступенчатое дросселирование и деление потока (разбиение на мелкие струйки) [1].

С использованием этих принципов был разработан гаситель пульсаций давления для снижения шума воздушного регулятора. ГПД представляет собой проточный канал, разделённый на несколько частей перфорированными шайбами. Изменение конструкции каждой части в отдельности позволяет исследовать влияние параметров газового потока на акустические характеристики ГПД.

Исследование акустических характеристик проточной части регулятора давления с ГПД проводилось с использованием Ansys Fluent (рис. 1, 2).

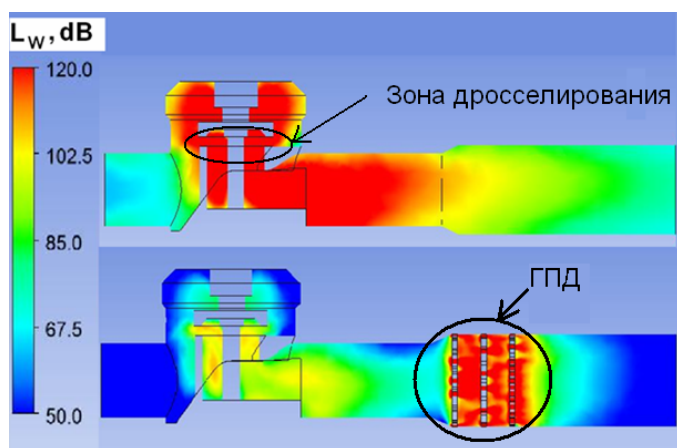


Рис. 1. Распределение акустической мощности источников шума

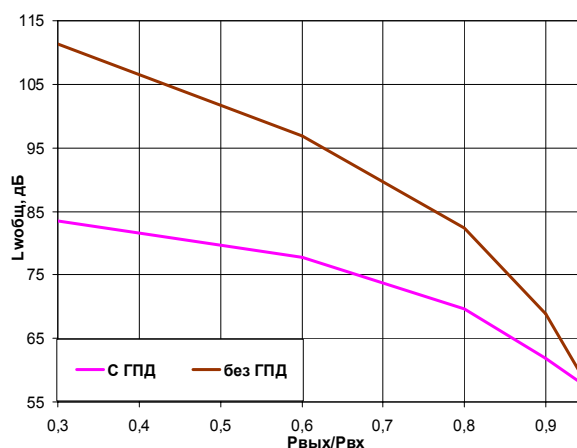


Рис. 2. Зависимость среднего уровня акустической мощности по объёму

На рис. 1. показаны скалярные поля акустической мощности, излучаемой воздушным потоком в результате его дросселирования в клапане. В одном масштабе представлены результаты численного моделирования одного регулятора давления и с гасителем пульсаций давления. Из рис. 1 видно, что в результате установки гасителя пульсаций давления произошло перераспределение источников шума. Если в регуляторе давления без ГПД (рис. 1) основной источник сосредоточен в зоне дросселирования потока (что не противоречит известным данным), то в случае установки перфорированных шайб главным источником является совокупность струек, вытекающих из отверстий перфорации. Несмотря на то, что источник шума перемещается в область гасителя пульсаций давления, общий уровень акустической мощности снижается. Это хорошо демонстрирует рис. 2. Данная тенденция сохраняется на всех режимах работы (на всех перепадах давления). Таким образом, гаситель пульсаций давления сам становится вторичным источником шума, но при этом снижается общий уровень акустической мощности, усреднённый по объёму.

Для подтверждения полученных данных были проведены серии экспериментов, направленных на доводку гасителя пульсаций давления. Исследовалось влияние различных параметров на эффективность шумоглушения ГПД. Среди та-

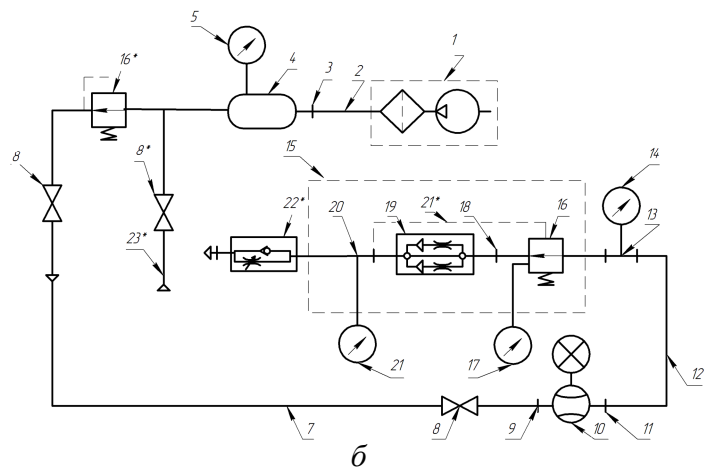
ких параметров можно выделить количество дроссельных шайб, расстояние между ними, площадь проходного сечения дроссельных шайб.

Экспериментальное исследование акустических характеристик проводилось в малой заглушенной камере СГАУ (рис. 3, а), что позволило снизить влияние внешних источников шума и вибрации на систему до минимума, а также избежать отражённых волн внутри камеры. Малая заглушенная камера разработана в ходе выполнения проекта «Разработка научных основ снижения шума сверхзвуковых пульсирующих струй» в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)» [5].

Воздушный компрессор 1 накачивает воздух в ресивер 4 посредством гибкого шланга 2. Манометром 5 контролируется давление в ресивере. Далее по магистрали 7 воздушный поток попадает на расходомер 10 и по гибкому шлангу 12 попадает на вход в регулятор давления (РД) 16. Давление на входе в регулятор контролируется манометром 14, давление на выходе из регулятора (давление на входе в ГПД) контролируется манометром 17. Воздушный поток попадает в гаситель пульсаций давления 19 и далее по трубе истекает в атмосферу. Давление на выходе из гасителя пульсаций давления контролируется манометром 21. Также в состав испытательного стенда входят: датчик пульсации давления на входе в гаситель, датчик пульсации давления на выходе из гасителя, микрофон (рис. 3, б).



а



б

Рис. 3. Экспериментальная установка: а - внешний вид; б - принципиальная схема

Ресивер и компрессор представляют собой комплекс подготовки сжатого рабочего газа (воздуха). Вентиль на выходе предназначен для настройки расхода на выходе из системы. Манометры, датчики пульсации давления и микрофон составляют информационно - измерительную систему стенда. Внутри камеры вдоль стен установлено звукопоглощающее покрытие из облицовочных и навесных матов из сверхтонкого стекловолокна «Изовер», заключённого в чехлы из тонкой бязи и слоя пористого материала «Изолон», наклеенного на внутреннюю поверхность корпуса камеры.

Измерения проводились с использованием акустического оборудования: шумомер «Октава – 110А», акустическая измерительная система «Symphonie». Была создана программа на основе программного обеспечения Lab View и оборудования National Instruments, позволяющая получать в реальном времени и записывать данные с датчиков пульсаций давления и микрофона.

По результатам первоначальных испытаний решено произвести экспериментальную оптимизацию модели гасителя пульсаций давления. Были выявлены основные параметры конструкции, предположительно имеющие влияние на эффективность ГПД. Такими параметрами являются:

- количество шайб в конструкции ГПД;
- проходное сечение дроссельных шайб;
- толщина проставок, разделяющих шайбы, т.е. расстояние между шайбами.

Теоретически было показано, что дроссельные шайбы гасителя пульсаций давления являются вторичным источником шума, интенсивность которого зависит от перепада давления. С другой стороны, установка дроссельной шайбы приводит к тому, что снижается перепад давления на регуляторе. Изменяя количество дроссельных шайб и площадь проходного сечения, можно изменять перепад давления и акустическую мощность источника. Для доказательства этого предположения была поставлена серия экспериментов.

При установке одной дроссельной шайбы общий уровень шума увеличился.

Это произошло во всём измеряемом диапазоне расходов. На рис. 4 показана зависимость уровня шума в дБА от нормального объёмного расхода воздуха через систему РД и ГПД.

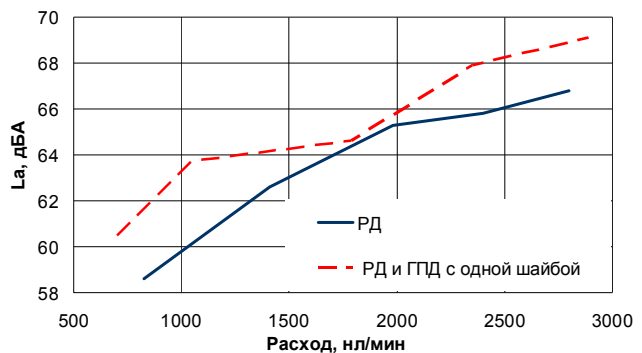


Рис. 4. Зависимость уровня шума от объёмного расхода с одной шайбой

Из рис. 4 видно, что установка одной дроссельной шайбы приводит к увеличению общего уровня шума на 1-4 дБА. Этот факт объясняется тем, что установка одной шайбы добавляет новый источник шума, а перепад давления на ней достаточно высок. Перепад же давления на регуляторе давления снизился незначительно.

На следующем этапе определялось оптимальное значение шайб в конструкции ГПД. В испытаниях принимали участие конструкции ГПД, имеющие от 1 до 6 шайб. Результаты представлены на рис. 5.

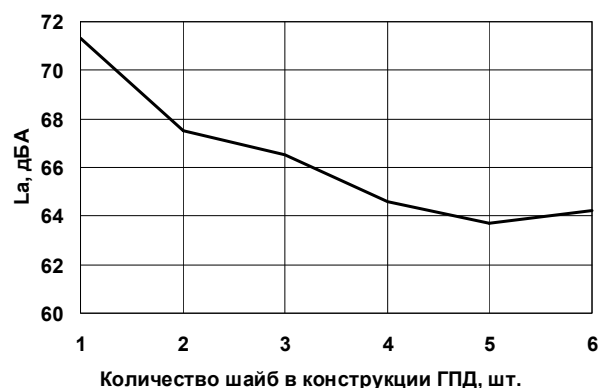


Рис. 5. Зависимость уровня шума от количества дросселирующих шайб

Из полученного графика можно сделать вывод, что конструкция с пятью шайбами снижает общий уровень шума до 63,8 дБА и эффективность гасителя пульсаций давления увеличивается до 9,6 дБА. При этом конструкция ГПД имеет такое же гидравлическое со-

противление, что и конструкция с шестью шайбами. Данный факт свидетельствует о малой эффективности использования шайб с большим проходным сечением, т.е. с низким гидравлическим сопротивлением. Уменьшение количества шайб приводит к уменьшению гидравлического сопротивления и уменьшению эффективности ГПД, так как перепад давления на регуляторе остаётся высоким.

Кроме количества дроссельных шайб на акустическую эффективность влияет площадь проходного сечения дроссельных шайб. Было проведено исследование влияния размера проходного сечения первой шайбы конструкции на эффективность ГПД при неизменных значениях площади проходного сечения последующих шайб.

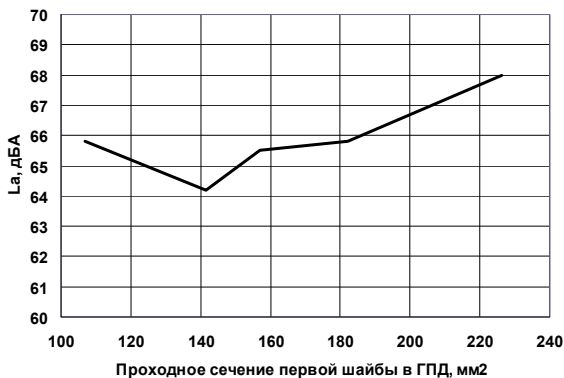


Рис. 6. Зависимость уровня шума от проходного сечения первой шайбы

При проведении испытаний использовалась конструкция ГПД с шестью шайбами с максимально эффективными показателями. Подбиралось проходное сечение первой шайбы, а все последующие шайбы подбирались таким образом, чтобы реализовывался диффузорный канал. На основании предварительного литературного анализа определено, что эффективные конструкции ГПД имеют дроссельные шайбы с увеличением площади проходного сечения от входа к выходу [1,2,3]. На рис. 6 показана зависимость общего уровня шума системы РД с ГПД при изменении площади проходного сечения первой дроссельной шайбы. Максимальную эффективность 9,1 дБА показала конструкция с первой шайбой, имеющей проходное сечение 141,4мм². Из графика можно сделать вы-

вод, что конструкция с шайбой, проходное сечение которой равно 102,3 мм², имеет «пережатое» проходное сечение, за счёт чего уровень шума и эффективность уменьшаются, а конструкции, начиная с шайбы, проходное сечение которой равно 157,2 мм², имеют относительно низкое гидравлическое сопротивление, что также уменьшает эффективность данных конструкций. Недостаточное гидравлическое сопротивление ГПД приводит к тому, что на самом регуляторе давления всё ещё реализуется высокий перепад давления, и он остаётся значимым источником шума.

Из теории известно изменение давления по длине канала при установке дроссельной шайбы. Значение давления имеет минимум там, где установлена дроссельная шайба, а затем давление повышается до определённого значения [4]. Изменяя значения расстояний между дроссельными шайбами, можно изменять эффективность шумоглушения. В следующей серии испытаний определялось оптимальное значение толщины проставок (расстояний между дроссельными шайбами), используемых в ГПД.

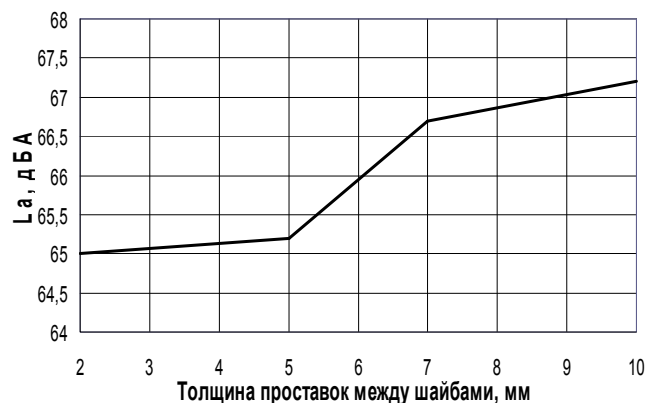


Рис. 7. Зависимость уровня шума от толщины проставок

Испытывались конструкции, имеющие проставки толщиной 2,5,7 и 10 мм.

Из графика (рис. 7) можно сделать вывод, что конструкция с проставками 2мм имеет максимальную эффективность 10,6 дБА. Увеличение толщины проставок уменьшает эффективность конструкции ГПД, при этом общий уровень шума возрастает с 65 до 67,2 дБА.

На рис. 8 представлены результаты измерения пульсаций давления в одной и той же точке системы с ГПД и без него [4].

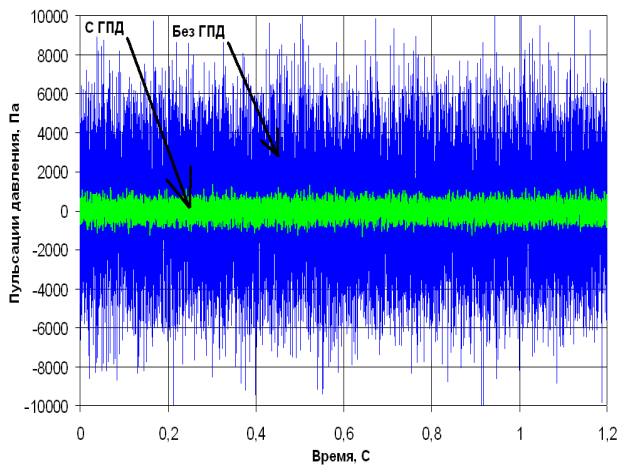


Рис. 8. Пульсации давления с ГПД и без

Из графика на рис. 8 можно сделать вывод, что использование конструкции с ГПД с дросселирующими шайбами определенной конфигурации позволяет существенно уменьшить уровень пульсации давления. Известно, что снижение пульсаций давления газового потока приводит к снижению уровня шума, излучаемого в окружающее пространство.

Кроме регистрации уровня шума при испытаниях фиксировались и спектральные характеристики.

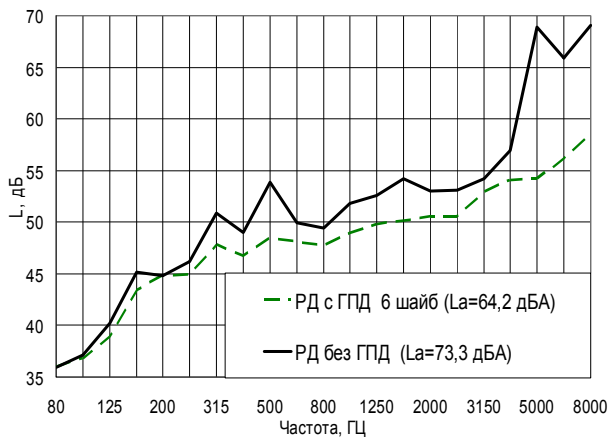


Рис. 9. Уровень шума системы с ГПД и без него

На рис. 9 показаны уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот, излучаемые регулятором давления без ГПД и с установленным ГПД. Акустиче-

ская эффективность ГПД на высоких частотах достигает 14 дБ.

Таким образом создана опытная модель гасителя пульсаций давления с эффективностью 10,6 дБА.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

Библиографический список

1. Jon Monsen Valve Noise Reduction Strategies [Электронный ресурс] / Valin Corporation, July 25, 2011: <http://valin.com/index.php/blog/14-fluid-management/311-valve-noise-reduction-strategies>.
2. Noise Control Manual: Manual Masoneilan Direct Sales Offices.2001 – p. 24.
3. Istvan L. V., Beranek L. L. Noise and vibration control engineering. [Текст] New Jersey, Wiley and Sons, 2006. – 966 с.
4. Igolkin A.A. Koh A., Kruchkov A., Safin A., Shakhmatov E. Pressure reducing valve noise reduction [Электронный ресурс] CD-ROM Proceedings of the Nineteen International Congress on Sound and Vibration (ICSV 19), Vilnius, Lithuania July 08-12, 2012.
5. Разработка научных основ снижения шума сверхзвуковых пульсирующих струй [Текст]: отчет по НИР (заключ.)/СГАУ; рук. Шорин В.П.; исполн.: Иголкин А.А., Кох А.И. [и др.].- Самара. 2006.- 80 с.
6. Шахматов, Е.В. Комплексное решение проблем виброакустики изделий машиностроения и аэрокосмической техники [Текст] / Е.В. Шахматов. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&CO.KG 2012. - 81 с.
7. Шахматов, Е.В. Использование гасителей колебаний давления для снижения виброакустической нагруженности гидромеханических систем [Текст] / Е.В. Шахматов, А.Н. Крючков, А.Б. Прокофьев [и др.] // Судостроение. 2011. -№ 3. - С. 45-47.

PRESSURE PULSATION DAMPENER FOR AIR CONTROLLER

© 2012 A. A. Igolkin, A. I. Safin, E. V. Shakhmatov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The article deal with pressure pulsation dampener (PPD) which reduce noise emitted by the valve. The results of numerical simulation and experimental study of the PPD. As a result of the work and tests, the efficiency of the pressure pulsation dampener was 10,6 dBA.

Pressure pulsation dampener, throttling, noise, valve, sound attenuation, acoustic power.

Информация об авторах

Иголкин Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: igolkin@pochta.ru. Область научных интересов: звукоизоляция и звукопоглощение материалов, динамика и виброакустика пневматических систем.

Сафин Артур Ильгизарович, аспирант кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: rturik@rambler.ru. Область научных интересов: звукопоглощение пористых материалов, разработка автоматизированных средств измерений и обработка виброакустических измерений.

Шахматов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: shakhm@ssau.ru. Область научных интересов: виброакустика сложных технических систем.

Igolkin Aleksandr Alekseevich, candidate of technical science, associate professor of automatic systems of power plants, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: igolkin@pochta.ru. Area of Research: sound insulation and sound absorption of materials, dynamics and vibroacoustics pneumatic systems.

Safin Arthur Ilgizarovich, post-graduate, department of automatic systems of power plants, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: safin@pisem.net. Area of research: sound absorption of porous materials, the development of automated measurement and processing of vibro-acoustic measurements.

Shakhmatov Evgeny Vladimirovich, doctor of technical science, professor, chief of automatic systems of power plants department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: shakhm@ssau.ru. Area of Research: vibroacoustics of complex technical systems.